

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバ母材を加熱線引きし、線引きされた光ファイバを樹脂により被覆する光ファイバの製造装置であって、

所定の熱伝導率を有する第1ガスからなる雰囲気にて前記光ファイバ母材を加熱線引きする線引き炉と、前記線引きされた光ファイバを前記樹脂により被覆する樹脂被覆部と、

前記線引き炉と前記樹脂被覆部との間に設けられ、前記第1ガスの前記所定熱伝導率よりも小さい熱伝導率を有する第2ガスからなる雰囲気にて前記線引きされた光ファイバを加熱して徐冷する徐冷炉とを備えることを特徴とする光ファイバの製造装置。

【請求項2】 前記徐冷炉は、前記線引き炉との間に所定の間隙を有して設けられていることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバの製造装置。

【請求項3】 前記第1ガスがHeガスであり、前記第2ガスが、N₂ガス、Arガス、空気のうちいずれかであることを特徴とする請求項1又は2に記載の光ファイバの製造装置。

【請求項4】 前記徐冷炉は、前記線引きされた光ファイバが通る炉心管を有し、前記炉心管は、前記線引きされた光ファイバの前記炉心管への入線温度が1400～1800℃の範囲となる位置に配設されることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の光ファイバの製造装置。

【請求項5】 光ファイバ母材を加熱線引きし、線引きされた光ファイバを樹脂により被覆する光ファイバの製造方法であって、所定の熱伝導率を有する第1ガスからなる雰囲気にて前記光ファイバ母材を加熱線引きし、前記第1ガスの前記所定熱伝導率よりも小さい熱伝導率を有する第2ガスからなる雰囲気にて前記線引きされた光ファイバを加熱して徐冷し、前記徐冷された光ファイバを前記樹脂により被覆することを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項6】 前記光ファイバ母材を加熱線引きするための線引き炉との間に所定の間隙を有して設けられる徐冷炉を用い、前記線引きされた光ファイバを前記徐冷炉にて徐冷することを特徴とする請求項5に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項7】 前記第1ガスとして、Heガスを用い、前記第2ガスとして、N₂ガス、Arガス、空気のうちいずれかを用いることを特徴とする請求項5又は6に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項8】 前記徐冷炉として、前記線引きされた光ファイバを通す炉心管を前記線引きされた光ファイバの前記炉心管への入線温度が1400～1800℃の範囲となる位置に配設した徐冷炉を用い、前記線引きされた光ファイバを前記徐冷炉にて徐冷する

ことを特徴とする請求項7に記載の光ファイバの製造方法。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】 本発明は、レイリー散乱強度の低減により、伝送損失が低くされた光ファイバの製造装置及び製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 レイリー散乱強度の低減により、伝送損失が低くされた光ファイバの製造方法として、例えば特開平10-25127号公報に記載されたものが知られている。この製造方法は、光ファイバ母材を加熱線引きして中間光ファイバを作製し、この中間光ファイバを再加熱することにより熱処理を施すものであり、再加熱によりガラスの構造緩和（原子再配列）により仮想温度（ガラス内の原子の配列状態の乱雑さが対応する温度）を下げて、レイリー散乱強度の低減を図っている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、加熱線引きされた光ファイバを保護するため、線引き直後の光ファイバの表面にUV樹脂等を被覆しており、上述した特開平10-25127号公報に記載された光ファイバの製造方法では、再加熱時の熱により光ファイバの表面に被覆された樹脂が燃えてしまうため、光ファイバ素線の量産に適したものではない。表面に樹脂を被覆しない状態での光ファイバを再加熱することも考えられるが、光ファイバ取り扱い時の傷付き等の問題から、量産の製造方法として適用できるものではない。

【0004】 本発明は上述の点に鑑みてなされたもので、レイリー散乱強度の低減により、伝送損失が低くされた光ファイバを製造するに際して、表面に樹脂が被覆された光ファイバ素線の量産に適用することが可能な光ファイバの製造装置及び製造方法を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明者らは、光ファイバ素線の量産に適用することが可能な光ファイバの製造装置及び製造方法について鋭意研究を行った結果、レイリー散乱強度と線引き後の光ファイバの冷却速度との関係について、以下のような事実を新たに見出した。

【0006】 高温のガラス内では熱エネルギーにより原子は激しく振動しており、低温のガラスに比べて原子配列は乱雑な状態となっている。高温のガラスをゆっくり冷却した場合には、原子の再配列が許される温度範囲では、原子は各温度に対応した乱雑さに配列しながら冷却されるので、ガラス内の原子の乱雑さは構造緩和が進行する最低温度（1200℃程度）に対応した状態となる。しかし、高温のガラスを急激に冷却した場合には、原子配列が各温度に対応した平衡状態に達する前に冷却固定されるために、徐冷した場合に比べて原子配列は乱雑な

状態となる。レイリー散乱強度は同一の物質でも原子配列が乱雑な方が大きくなり、通常、線引き後に5000～30000℃/秒の冷却速度で冷却される光ファイバでは、バルクガラスに比べて原子配列が乱雑な状態になっており、これが原因でレイリー散乱強度が大きくなっていると考えられる。また、1700℃より高温では原子の構造緩和は極めて短時間で進行するため、30000℃/秒程度で急激に冷却した場合においても、各温度の平衡状態を維持することができる。

【0007】一方、構造緩和に要する時間は温度が低くなるほど長くなるため、例えば1000～1200℃程度ではその温度に数十時間維持しておかないと構造緩和が起こらない。線引き後の光ファイバは、通常0.数秒で400℃程度まで冷却されるため、線引き工程中の光ファイバが冷却される短時間の間に構造緩和を起こさせるためには、1200℃よりも高温の状態に維持する必要がある。

【0008】そこで、本発明者らは線引き後の光ファイバ温度及び冷却速度に着目して、純石英コアファイバの温度が、上述した構造緩和が進行する最低温度（1200℃程度）よりも高温且つ構造緩和が極めて短時間で進行する1700℃以下の1300～1700℃になっている部分での冷却速度とレイリー散乱係数との関係を調査した。その結果、純石英コアファイバの温度が1300～1700℃となっている部分での冷却速度とレイリー散乱係数との間には、図3に示されるような関係が存在していることが確認された。なお、レイリー散乱強度（I）は下記（1）式に示すように波長（λ）の4乗に反比例する性質を有しており、この時の係数Aをレイリー散乱係数としている。

$$I = A / \lambda^4 \quad \dots\dots\dots (1)$$

【0009】これらの結果から、加熱線引きされ、樹脂が被覆される前の光ファイバの冷却速度を遅くすることにより、光ファイバのレイリー散乱強度を低減して、伝送損失を低くすることができるという点が判明した。

【0010】かかる研究結果を踏まえ、請求項1に記載の本発明による光ファイバの製造装置は、光ファイバ母材を加熱線引きし、線引きされた光ファイバを樹脂により被覆する光ファイバの製造装置であって、所定の熱伝導率を有する第1ガスからなる雰囲気にて光ファイバ母材を加熱線引きする線引き炉と、線引きされた光ファイバを樹脂により被覆する樹脂被覆部と、線引き炉と樹脂被覆部との間に設けられ、第1ガスの所定熱伝導率よりも小さい熱伝導率を有する第2ガスからなる雰囲気にて線引きされた光ファイバを加熱して徐冷する徐冷炉とを備えることを特徴としている。

【0011】上述の請求項1に記載の光ファイバの製造装置によれば、線引き炉と樹脂被覆部との間に、第1ガスの所定熱伝導率よりも小さい熱伝導率を有する第2ガスからなる雰囲気にて線引きされた光ファイバを加熱し

て徐冷する徐冷炉とを備えているので、徐冷炉内における光ファイバの雰囲気ガスの熱伝導率が小さくなり、加熱線引きされ、樹脂が被覆される前の光ファイバのうちの所定区間での冷却速度が遅くなり、徐冷されることになる。このため、光ファイバの構造緩和が短時間の内に進行し、原子配列の乱雑さが低減されることになり、加熱線引きから樹脂被覆までの極めて短い間で、レイリー散乱強度を低減して伝送損失が低くされた光ファイバの製造が可能となる。また、線引き後の樹脂を被覆する前の光ファイバの冷却速度を制御することによりレイリー散乱強度の低減を図っているので、上述した先行技術のような再加熱のための熱処理が不要となり、表面に樹脂が被覆された光ファイバ素線の量産に極めて容易に適用することが可能となる。また、線引き炉内における光ファイバの雰囲気ガスの熱伝導率は、徐冷炉内の雰囲気ガスとしての第2ガスより大きい熱伝導率を有しているので、光ファイバ母材が加熱軟化されて一定径に漸近されるまで速やかに冷却され、光ファイバの外径の変動を抑制することが可能となる。

【0012】また、徐冷炉は、線引き炉との間に所定の間隙を有して設けられていることが好ましい。このように、徐冷炉と線引き炉との間に所定の間隙を設けることにより、第1ガスが徐冷炉側に流れ込む、あるいは、第2ガスが線引き炉側に流れ込むといった事態の発生が抑制され、線引き炉内の雰囲気ガスの熱伝導率及び徐冷炉内の雰囲気ガスの熱伝導率が適切に維持される。このため、伝送損失が低くされ且つ外径の変動が抑制された光ファイバの製造を安定して行うことが可能となる。

【0013】また、第1ガスがHeガスであり、第2ガスが、N₂ガス、Arガス、空気のうちいずれかであることが好ましい。このように、第1ガスをHeガスとし、第2ガスを、N₂ガス、Arガス、空気のうちいずれかとすることにより、線引き炉内の雰囲気ガスの熱伝導率及び徐冷炉内の雰囲気ガスの熱伝導率を適切な値に設定できる。

【0014】また、徐冷炉は、線引きされた光ファイバが通る炉心管を有し、炉心管は、線引きされた光ファイバの炉心管への入線温度が1400～1800℃の範囲となる位置に配設されることが好ましい。このように、徐冷炉を炉心管への光ファイバの入線温度が1400～1800℃の範囲となる位置に配設することにより、光ファイバの温度が1300～1700℃となっている部分のうちの所定区間での光ファイバの冷却速度が遅くなり、光ファイバの構造緩和が促進され、レイリー散乱強度を更に低減することが可能となる。

【0015】また、請求項5に記載の本発明による光ファイバの製造方法は、光ファイバ母材を加熱線引きし、線引きされた光ファイバを樹脂により被覆する光ファイバの製造方法であって、所定の熱伝導率を有する第1ガスからなる雰囲気にて光ファイバ母材を加熱線引きし、

10

20

30

40

50

第1ガスの所定熱伝導率よりも小さい熱伝導率を有する第2ガスからなる雰囲気にて線引きされた光ファイバを加熱して徐冷し、徐冷された光ファイバを樹脂により被覆することを特徴としている。

【0016】上述の請求項5に記載の光ファイバの製造方法によれば、第1ガスからなる雰囲気にて光ファイバ母材を加熱線引きし、その後、第1ガスの所定熱伝導率よりも小さい熱伝導率を有する第2ガスからなる雰囲気にて線引きされた光ファイバを加熱して徐冷するので、加熱線引きされ、樹脂が被覆される前の光ファイバのうちの所定区間での冷却速度が遅くなる。このため、光ファイバの構造緩和が短時間の内に進行し、原子配列の乱雑さが低減されることになり、加熱線引きから樹脂被覆までの極めて短い間で、レイリー散乱強度を低減して伝送損失が低くされた光ファイバの製造が可能となる。また、線引き後の樹脂を被覆する前の光ファイバの冷却速度を制御することによりレイリー散乱強度の低減を図っているので、上述した先行技術のような再加熱のための熱処理が不要となり、表面に樹脂が被覆された光ファイバ素線の量産に極めて容易に適用することが可能となる。また、光ファイバ母材を第2ガスより熱伝導率を有する第1ガスからなる雰囲気ガスにて加熱線引きするので、光ファイバ母材が加熱軟化されて一定径に漸近されるまで速やかに冷却され、光ファイバの外径の変動を抑制することが可能となる。

【0017】また、光ファイバ母材を加熱線引きするための線引き炉との間に所定の間隙を有して設けられる徐冷炉を用い、線引きされた光ファイバを徐冷炉にて徐冷することが好ましい。このように、線引き炉との間に所定の間隙を有して設けられる徐冷炉を用いることにより、第1ガスが徐冷炉側に流れ込む、あるいは、第2ガスが線引き炉側に流れ込むといった事態の発生が抑制され、線引き炉内の雰囲気ガスの熱伝導率及び徐冷炉内の雰囲気ガスの熱伝導率が適切に維持される。このため、伝送損失が低くされ且つ光ファイバ外径の変動が抑制された光ファイバの製造を安定して行うことが可能となる。

【0018】また、第1ガスとして、Heガスを、第2ガスとして、N₂ガス、Arガス、空気のうちいずれかを用いることが好ましい。このように、第1ガスとしてHeガスを、第2ガスとしてN₂ガス、Arガス、空気のうちいずれかを用いることにより、線引き炉内の雰囲気ガスの熱伝導率及び徐冷炉内の雰囲気ガスの熱伝導率を適切な値に設定できる。

【0019】また、徐冷炉として、線引きされた光ファイバを通す炉心管を線引きされた光ファイバの炉心管への入線温度が1400～1800℃の範囲となる位置に*

$$L1 \leq 0.2 \times V$$

ここで、L1：線引き炉11のヒータ12の下端から炉心管23の上端までの距離（m）

* 配設した徐冷炉を用い、線引きされた光ファイバを徐冷炉にて徐冷することが好ましい。このように、炉心管への光ファイバの入線温度が1400～1800℃の範囲となる位置に配設された徐冷炉を用いることにより、光ファイバの温度が1300～1700℃となっている部分のうちの所定区間での光ファイバの冷却速度を遅くでき、光ファイバの構造緩和を促進させ、レイリー散乱強度を更に低減することが可能となる。

【0020】

10 【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0021】まず、図1を参照しながら、本発明による光ファイバの製造装置及びこの製造方法に用いられる線引き装置の実施形態を説明する。

【0022】線引き装置1は石英系光ファイバの線引き装置であって、線引き炉11、徐冷炉21及び樹脂硬化部31を有し、線引き炉11、徐冷炉21及び樹脂硬化部31は光ファイバ母材2を線引きする方向（図1において、上から下）に、線引き炉11、徐冷炉21、樹脂硬化部31の順で配設されている。母材供給装置（図示せず）に保持された光ファイバ母材2を線引き炉11に供給し、線引き炉11内のヒータ12で光ファイバ母材2の下端を加熱・軟化させ、光ファイバ3を線引きする。線引き炉11の炉心管13には、Heガス供給部14からのHeガス供給通路15が接続されており、線引き炉11の炉心管13内には第1ガスとしてのHeガスが供給され、炉心管13内がHeガス雰囲気となるように構成されている。加熱線引きされた光ファイバ3は炉心管13内にて、1700℃程度にまで急激に冷却される。その後、光ファイバ3は、炉心管13の下部から線引き炉11外に出され、線引き炉11と徐冷炉21との間に空冷される。Heガスの熱伝導率λ（T=300K）は150mW/（m・K）であり、空気の熱伝導率λ（T=300K）は26mW/（m・K）である。

【0023】空冷された光ファイバ3を徐冷炉21に送り、光ファイバ3の所定区間を加熱し、所定の冷却速度にて徐冷する。徐冷炉21はその中に光ファイバ3が通る炉心管23を有し、この炉心管23は、光ファイバ母材2の線引き方向（図1において、上下方向）での全長L2（m）が、

$$L2 \geq V/8 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、V：線引き速度（m/s）

を満足するように設定されている。また、徐冷炉21は、炉心管23の位置が、炉心管23に入る直前の光ファイバの温度（入線温度）が1400～1800℃の範囲となる位置に設定されており、線引き炉11に対して、

$$\dots\dots\dots (3)$$

V：線引き速度（m/s）

50 を満足するように、設けられている。徐冷炉21のヒータ

タ22の温度は、炉心管23の内周面（光ファイバ母材2あるいは光ファイバ3の表面と対向する面）の表面温度が1200～1600℃の範囲内の温度、特に、1300～1500℃の範囲内の温度に設定されている。

【0024】上述した徐冷炉21（炉心管23）の位置及び長さの設定により、徐冷炉21において、加熱線引きされた光ファイバ3において温度が1300～1700℃となる部分のうち、光ファイバ3の温度差が50℃以上となる区間、例えば、光ファイバ3の温度が1400～1600℃となる部分（温度差が200℃となる区間）が1000℃/秒以下の冷却速度で徐冷されることになる。なお、炉心管23の内周面（光ファイバ母材2あるいは光ファイバ3の表面と対向する面）の表面温度を1300～1500℃の範囲内の温度に設定することにより、加熱線引きされた光ファイバ3において温度が1400～1600℃となる部分のうち、光ファイバ3の温度差が50℃以上となる区間が1000℃/秒以下の冷却速度で徐冷されることになる。

【0025】徐冷炉21の炉心管23には、N₂ガス供給部24からのN₂ガス供給通路25が接続されており、徐冷炉21の炉心管23内には第2ガスとしてのN₂ガスが供給され、炉心管23内がN₂ガス雰囲気となるように構成されている。N₂ガスはHeガスより熱伝導率が小さく、光ファイバの冷却速度を遅くする役割を果たしている。N₂ガスの熱伝導率 λ （T=300K）は26mW/(m・K)である。N₂ガスを用いる代わりに、空気あるいはArといった分子量の比較的大きいガス等を用いることが可能である。もちろんカーボンヒータを用いる場合には、不活性ガスを用いる必要がある。

【0026】徐冷炉21を出た光ファイバ3は、外径測定手段としての外径測定器41により外径がオンライン測定され、その測定値がドラム42を回転駆動する駆動モータ43にフィードバックされて外径が一定となるように制御される。外径測定器41からの出力信号は、制御手段としての制御ユニット44に送られ、光ファイバ3の外径が予め設定された所定値となるように、ドラム42（駆動モータ43）の回転速度を演算により求める。制御ユニット44からは、演算により求めたドラム42（駆動モータ43）の回転速度を示す出力信号が駆動モータ用ドライバ（図示せず）に出力され、この駆動モータ用ドライバは制御ユニット44からの出力信号に基づいて、駆動モータ43の回転速度を制御する。

【0027】その後、光ファイバ3に、コーティングダイス51によりUV樹脂52を塗布し、樹脂硬化部31のUVランプ32によりUV樹脂52が硬化され、光ファイバ素線4となる。そして、光ファイバ素線4は、ガイドローラ61を経て、ドラム42により巻き取られる。ドラム42は、回転駆動軸45に支持されており、この回転駆動軸45の端部は駆動モータ43に接続されている。ここで、コーティングダイス51及び樹脂硬化

部31は、各請求項における樹脂被覆部を構成している。樹脂被覆部としては、熱硬化樹脂を塗布し、加熱炉により硬化させるように構成してもよい。

【0028】次に、上述した線引き装置1（ただし、線引き炉11は長さ（L3）が0.07mの下煙突部を有している）を用いて行った実験の結果について説明する。これらの実験において共通の条件は、以下のとおりである。光ファイバ母材2として、外径50mmのものをを用い、この光ファイバ母材2から外径125 μ mの光ファイバ3を線引きした。線引き炉の温度は、炉心管内周面の表面温度で2000℃程度としている。なお、以下の実験例（実施例1及び実施例2、及び、比較例1～比較例3）においては、光ファイバ3の温度を、光ファイバ3の表面温度としている。光ファイバ3の表面温度と光ファイバ3内部との温度差は20～50℃程度である。線引き炉11及び徐冷炉21の温度は、各炉心管13、23の内周面（光ファイバ母材2あるいは光ファイバ3の表面と対向する面）の表面温度としている。

【0029】実施例1及び実施例2は、上述した実施形態に係る石英系光ファイバの製造方法による実験例であり、比較例1～比較例3は、上述した実施形態に係る光ファイバの製造方法及び製造装置による実験例との対比のために行った比較実験例である。

【0030】（実施例1）L1=0.4m、L2=1.0mとなる炉心管（内周直径が略30mm）を有する徐冷炉を用いて、光ファイバの線引きを行った。線引き炉と徐冷炉との間隔（L4）は0.05mに設定されている。線引きする光ファイバ母材は、コア部が純石英ガラスからなり、クラッド部がフッ素添加ガラスからなる。線引き速度は4m/s、線引き張力は25gf、徐冷炉（炉心管内周面の表面温度）の温度は1400℃とした。徐冷炉に入る直前の光ファイバの温度（入線温度）は、光ファイバの表面温度で1600℃程度である。光ファイバの温度分布（計算値）は図2中の（a）に示されるように、徐冷炉21内にて1600℃前後に保持されて徐冷されていることがわかる。ここで徐冷炉において、線引きされた光ファイバのうち温度が1550～1650℃となる部分が、徐冷炉の全長である1.0mの区間において600～800℃/秒程度の徐冷速度にて冷却されたことになる。なお、徐冷炉21と所定間隔を有して強制冷却部71が設けられており、強制冷却部71では徐冷された光ファイバ3が強制冷却されるようにしている。

【0031】線引きされた光ファイバの伝送損失（波長1.55 μ mの光に対する伝送損失）を測定したところ、0.170dB/kmであった。また、伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱係数は、0.84dB μ m⁴/kmであった。線引きされた光ファイバの外径は、125 \pm 0.1 μ mであった。

【0032】（実施例2）L1=0.4m、L2=2.

0 mとなる炉心管（内周直径が略30 mm）を有する徐冷炉を用いて、光ファイバの線引きを行った。線引き炉と徐冷炉との間隔（L4）は0.05 mに設定されている。線引きする光ファイバ母材は、コア部がGe添加石英ガラスからなり、クラッド部が石英ガラスからなる。コア部とクラッド部との比屈折率差 Δn は、0.36%である。線引き速度は8 m/s、線引き張力は80 gf、徐冷炉（炉心管内周面の表面温度）の温度は1400℃とした。徐冷炉に入る直前の光ファイバの温度（入線温度）は、光ファイバの表面温度で1600℃程度である。ここで徐冷炉において、線引きされた光ファイバのうち温度が1500～1600℃となる部分が、徐冷炉の全長である2.0 mの区間において500～700℃/秒の徐冷速度にて冷却されたことになる。

【0033】線引きされた光ファイバの伝送損失（波長1.55 μ mの光に対する伝送損失）を測定したところ、0.182 dB/kmであった。また、伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱係数は、0.92 dB μ m⁴/kmであった。線引きされた光ファイバの外径は、125 \pm 0.1 μ mであった。

【0034】（比較例1）L1=0.4 m、L2=1.0 mとなる炉心管（内周直径が略30 mm）を有する徐冷炉を用いて、光ファイバの線引きを行った。線引き炉と徐冷炉との間隔（L4）は0.05 mに設定されている。線引きする光ファイバ母材は、コア部が純石英ガラスからなり、クラッド部がフッ素添加ガラスからなる。線引き速度は4 m/s、線引き張力は25 gfとした。徐冷炉での加熱を取り止め、また、徐冷炉（炉心管）内にはN₂ガスの代わりにHeガスを供給した。光ファイバの温度分布（計算値）は図2中の（c）に示されるように、線引き炉を出た光ファイバは約3000℃/秒の冷却速度にて冷却されていることがわかる。

【0035】線引きされた光ファイバの伝送損失（波長1.55 μ mの光に対する伝送損失）を測定したところ、0.18 dB/kmであった。また、伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱係数は、0.9 dB μ m⁴/kmであった。

【0036】（比較例2）L1=0.4 m、L2=1.0 mとなる炉心管（内周直径が略30 mm）を有する徐冷炉を用いて、光ファイバの線引きを行った。線引き炉と徐冷炉との間隔（L4）は0.05 mに設定されている。線引きする光ファイバ母材は、コア部が純石英ガラスからなり、クラッド部がフッ素添加ガラスからなる。線引き速度は4 m/s、線引き張力は25 gfとした。徐冷炉での加熱を取り止めた。徐冷炉（炉心管）内にはN₂ガスを供給した。光ファイバの温度分布（計算値）は図2中の（c）に示されるように、線引き炉を出た光ファイバは約4000～5000℃/秒の冷却速度にて冷却されていることがわかる。

【0037】線引きされた光ファイバの伝送損失（波長

1.55 μ mの光に対する伝送損失）を測定したところ、0.174 dB/kmであった。また、伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱係数は、0.86 dB μ m⁴/kmであった。

【0038】（比較例3）L1=0.4 m、L2=1.0 mとなる炉心管（内周直径が略30 mm）を有する徐冷炉を用いて、光ファイバの線引きを行った。線引き炉と徐冷炉との間隔（L4）は0.05 mに設定されている。線引きする光ファイバ母材は、コア部が純石英ガラスからなり、クラッド部がフッ素添加ガラスからなる。線引き速度は4 m/s、線引き張力は25 gf、徐冷炉（炉心管内周面の表面温度）の温度は1400℃とした。線引き炉（炉心管）内にはHeガスの代わりにN₂ガスを供給した。

【0039】線引きされた光ファイバの伝送損失（波長1.55 μ mの光に対する伝送損失）を測定したところ、0.170 dB/kmであった。また、伝送損失の波長特性を測定したデータから求めたレイリー散乱係数は、0.84 dB μ m⁴/kmであった。線引きされた光ファイバの外径は、125 \pm 0.3 μ mであった。

【0040】以上のように、実施例1においては、レイリー散乱係数が0.84 dB μ m⁴/km、波長1.55 μ mの光に対する伝送損失が0.17 dB/kmとなり、比較例1及び比較例2のレイリー散乱係数が0.86～0.9 dB μ m⁴/km、波長1.55 μ mの光に対する伝送損失が0.174～0.18 dB/kmと比べて、レイリー散乱係数を低減して、伝送損失を低減することができた。一方、実施例2においては、レイリー散乱係数が0.92 dB μ m⁴/km、波長1.55 μ mの光に対する伝送損失が0.182 dB/kmとなり、Ge含有シングルモード光ファイバとしては十分伝送損失を低減することができた。

【0041】また、実施例1及び実施例2においては、線引きされた光ファイバの外径が125 \pm 0.1 μ mとなり、比較例3の125 \pm 0.3 μ mと比べて光ファイバの外径の変動を抑制して、安定した線引きを行うことができた。

【0042】このように、上述した実験結果からも明らかなように、本実施形態に係る光ファイバの製造装置及び製造方法においては、線引き炉11と樹脂硬化部31（コーティングダイス51）との間に、光ファイバ3の所定区間を加熱し、所定の冷却速度にて徐冷する徐冷炉21を設け、線引き炉11の炉心管13には、Heガス供給部14からのHeガス供給通路15を接続して、炉心管13内にHeガスを供給し、徐冷炉21の炉心管23には、N₂ガス供給部24からのN₂ガス供給通路25を接続して、炉心管23内にN₂ガスを供給しているので、炉心管13内がHeガス雰囲気となる一方、炉心管23内がN₂ガス雰囲気となる。従って、徐冷炉21内における光ファイバ3の雰囲気ガスの熱伝導率が小さく

なり (N_2 ガスの熱伝導率 λ ($T=300K$) は $26 mW/(m \cdot K)$)、加熱線引きされ、UV樹脂52が被覆される前の光ファイバのうちの所定区間での冷却速度が遅くなり、構造緩和が短時間の内に進行し、原子配列の乱雑さが低減されるので、加熱線引きからUV樹脂52の被覆までの極めて短い間で、レイリー散乱強度を低減して伝送損失が低くされた光ファイバ3を製造することが可能となる。また、線引き後のUV樹脂52を被覆する前の光ファイバ3の冷却速度を制御することによりレイリー散乱強度の低減を図っているので、上述した先行技術のような再加熱のための熱処理が不要となり、表面にUV樹脂52が硬化、被覆された光ファイバ素線4の量産に極めて容易に適用することが可能となる。また、線引き炉11内における光ファイバ母材2及び光ファイバ3の雰囲気ガスの熱伝導率は、徐冷炉内の雰囲気ガスより大きい熱伝導率を有しているので (He ガスの熱伝導率 λ ($T=300K$) は $150 mW/(m \cdot K)$)、光ファイバ母材2が加熱軟化されて一定径に漸近されるまで速やかに冷却され、光ファイバ3の外径の変動を抑制することが可能となる。

【0043】また、徐冷炉21は、線引き炉11との間に所定の間隙を有して設けられており、光ファイバ3は、炉心管13の下部から線引き炉11外に出され、線引き炉11と徐冷炉21との間にて空冷された後に徐冷炉21に入るの、 He ガスが徐冷炉21 (炉心管23内) に流れ込む、あるいは、 N_2 ガスが線引き炉11 (炉心管13内) に流れ込むといった事態の発生が抑制され、線引き炉11内の He ガスの熱伝導率及び徐冷炉21内の N_2 ガスの熱伝導率が適切に維持される。このため、伝送損失が低くされ且つ外径の変動が抑制された光ファイバ3の製造を安定して行うことが可能となる。

【0044】また、徐冷炉21の炉心管23の位置を、炉心管23に入る直前の光ファイバ温度 (入線温度) が $1400 \sim 1800^\circ C$ の範囲となる位置とすることにより、線引き炉11にて加熱線引きされた後、UV樹脂52を被覆する前の光ファイバ3において温度が $1300 \sim 1700^\circ C$ となる部分の所定区間を、確実に加熱し、この部分における冷却速度を適切に遅くすることができる。光ファイバ3のうち、その温度が $1300 \sim 1700^\circ C$ となる部分の所定区間における冷却速度が遅くなることにより、光ファイバ3の構造緩和が促進され、レイリー散乱強度を更に低減することが可能となる。

【0045】また、徐冷炉21の炉心管23の位置を、上述した (3) 式を満足する位置とすることにより、線引き炉11にて加熱線引きされた後、UV樹脂52を被覆する前の光ファイバ3において温度が $1300 \sim 1700^\circ C$ となる部分の所定区間を、確実に加熱し、この部分における冷却速度を適切に遅くすることができる。

【0046】また、徐冷炉21の炉心管23の全長を、上述した (2) 式を満足する長さとするにより、線

引き炉11にて加熱線引きされた後、UV樹脂52を被覆する前の光ファイバ3において温度が $1300 \sim 1700^\circ C$ となる部分の所定区間を、確実に加熱し、この部分における冷却速度を適切に遅くすることができる。

【0047】また、線引き速度が速い場合には、線引き炉11の炉心管13内を He ガス雰囲気とし、線引き炉11と徐冷炉21との間で空冷として、光ファイバ3の徐冷炉21に入る前の部分 (光ファイバ3の温度が $1700^\circ C$ 以上の部分) を $4000^\circ C$ /秒以上の冷却速度にて冷却しているので、光ファイバ3の冷却のために必要となる設備高さを低減することが可能となる。なお、 $1700^\circ C$ より高温では原子の構造緩和は極めて短時間で進行するため、 $4000^\circ C$ /秒以上の冷却速度で冷却した場合においても、各温度の平衡状態を維持することができ、レイリー散乱強度に影響を及ぼすことはない。

【0048】また、徐冷炉21から出た光ファイバ3の外径を測定するための外径測定器41と、外径測定器41からの出力信号に応じて光ファイバ3の外径が所定値となるようにドラム42 (駆動モータ43) の回転速度を制御する制御ユニット44とを備えているので、徐冷炉21から出て、外径長さが安定した状態にある光ファイバ3の外径を測定して、この安定した外径に基づいてドラム42 (駆動モータ43) の回転速度を制御され、光ファイバ3の線引き速度を適切に制御することが可能となる。

【0049】本実施形態の変形例として、徐冷炉21のヒータ22を複数のヒータにて構成し、この複数のヒータを光ファイバ母材2を線引きする方向 (図1において、上から下) に配設し、徐冷炉21の炉心管23内において、線引き炉11側を高温に、樹脂硬化部31 (コーティングダイス51) 側を低温とする温度勾配を与えるように構成してもよい。線引き炉11にて加熱線引きされた光ファイバ3の温度は、線引き炉11側から樹脂硬化部31 (コーティングダイス51) 側に向かって低下する温度分布を有する。従って、複数のヒータを設け、徐冷炉21に、線引き炉11側を高温に、樹脂硬化部31 (コーティングダイス51) 側を低温とする温度勾配が与えることにより、炉心管23内が光ファイバ3の温度に対応した温度分布を有することとなり、光ファイバ3との温度差を適切に保ち、光ファイバ3を更に適切な冷却速度にて冷却することができる。

【0050】更なる変形例として、徐冷炉21を線引き炉11に連続して一体的に設けるように構成してもよい。このように、徐冷炉21を線引き炉11に連続して一体的に設けた場合においても、レイリー散乱強度を低減して伝送損失が低くされた光ファイバ3を製造することが可能となる。

【0051】

【発明の効果】以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、レイリー散乱強度の低減により、伝送損失が低

くされた光ファイバを製造するに際して、表面に樹脂が被覆された光ファイバ素線の量産に適用することが可能な光ファイバの製造装置及び製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明による光ファイバの製造装置の実施形態を示す概略構成図である。

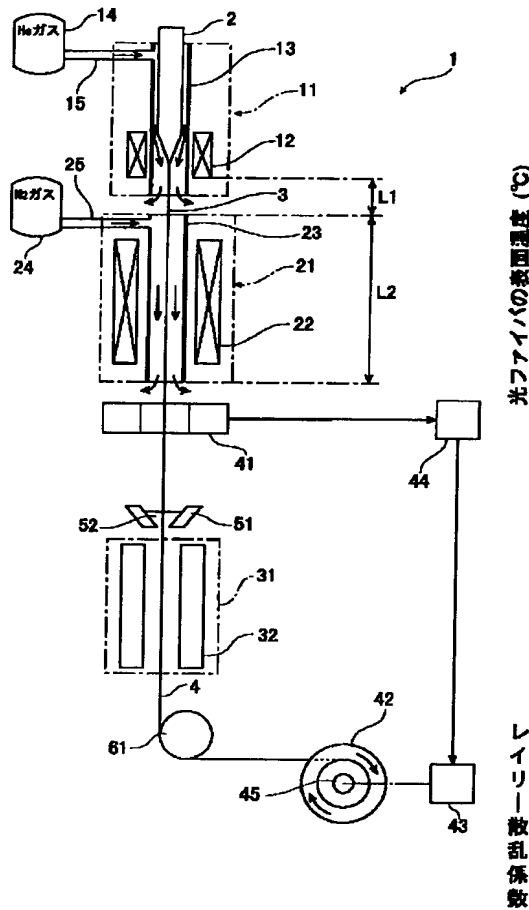
【図 2】 本発明による光ファイバの製造装置の実施形態における、光ファイバの温度分布を示す図表である。

【図 3】 レイリー散乱係数と光ファイバの冷却速度との関係を示す図表である。

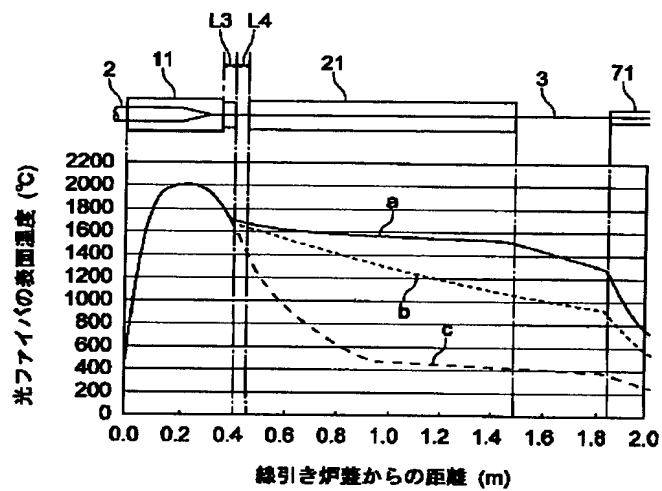
* 【符号の説明】

1…線引き装置、2, 102…光ファイバ母材、3…光ファイバ、4…光ファイバ素線、11…線引き炉、12…ヒータ、13…炉心管、14…He ガス供給部、15…He ガス供給通路、21…徐冷炉、22…ヒータ、23…炉心管、24…N₂ ガス供給部、25…N₂ ガス供給通路、31…樹脂硬化部、32…UV ランプ、41…外径測定器、42…ドラム、43…駆動モータ、44…制御ユニット、45…回転駆動軸、51…コーティングダイス、52…UV 樹脂液、61…ガイドローラ。

【図 1】



【図 2】



【図 3】

